

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-195948

(43)Date of publication of application : 11.07.2003

(51)Int.Cl. G05D 7/06

G01F 1/00

G01F 1/42

(21)Application number : 2001-399433

(71)Applicant : OMI TADAHIRO
TOKYO ELECTRON LTD
FUJIKIN INC

(22)Date of filing : 28.12.2001

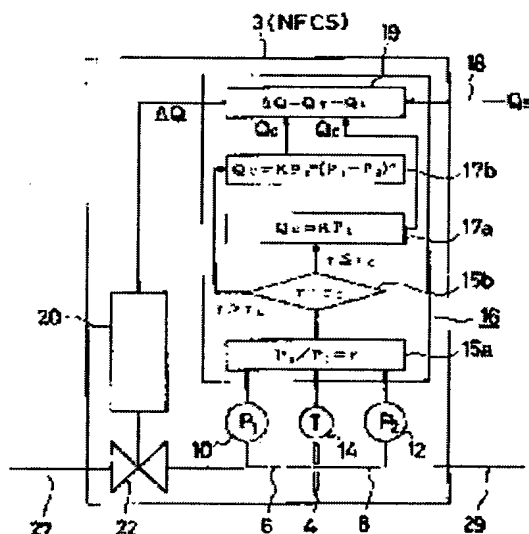
(72)Inventor : OMI TADAHIRO
INUI HIDEJIRO
SAKAI TAIJI
UEYAMA MASAYOSHI
SUGIYAMA KAZUHIKO
UNO TOMIO
IKEDA SHINICHI
NISHINO KOJI
NAKAMURA OSAMU
DOI RYOSUKE
MATSUMOTO SENSHI

(54) IMPROVED PRESSURE TYPE FLOW CONTROL DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To develop an improved pressure type flow control device establishing an empirical flow formula fitted with high precession to an actual flow amount of a compressible fluid in a non-critical region and performing flow control with high precision using the empirical flow formula.

SOLUTION: The improved pressure type flow control device expressing the empirical flow formula for the compressible fluid in the non-critical region (non-sonic region) as $Q_c = KP_1^m(P_1 - P_2)^n$ (wherein K is a proportionality constant; m and n are each constants) and calculating the flow amount passing an orifice 4 using the formula $Q_c = KP_1^m(P_1 - P_2)^n$ accurately and speedily controls flow to be the target flow. A pressure ratio $P_2/P_1 = r$ obtained from an upstream pressure P1 and a downstream pressure P2 is always compared



with a critical value r_c . The flow amount is calculated using $Q_c = KP1$ for a critical condition ($r \leq r_c$), and using $Q_c = KP2m(P1 - P2)^n$ for a critical condition ($r > r_c$). The flow control device then accurately and speedily controls the flow amount to be the target flow amount while corresponding to all conditions of the fluid.

LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 17.12.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-195948

(P2003-195948A)

(43)公開日 平成15年7月11日(2003.7.11)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マ-ト ⁸ (参考)
G 0 5 D 7/06		G 0 5 D 7/06	Z 2 F 0 3 0
G 0 1 F 1/00		G 0 1 F 1/00	F 5 H 3 0 7
1/42		1/42	Z

審査請求 未請求 請求項の数5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願2001-399433(P2001-399433)

(22)出願日 平成13年12月28日(2001.12.28)

(71)出願人 000205041

大見 忠弘

富城県仙台市青葉区米ヶ袋2-1-17-301

(71)出願人 000219867

東京エレクトロン株式会社

東京都港区赤坂五丁目3番6号

(71)出願人 390033857

株式会社フジキン

大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号

(74)代理人 100082474

弁理士 杉本 丈夫 (外1名)

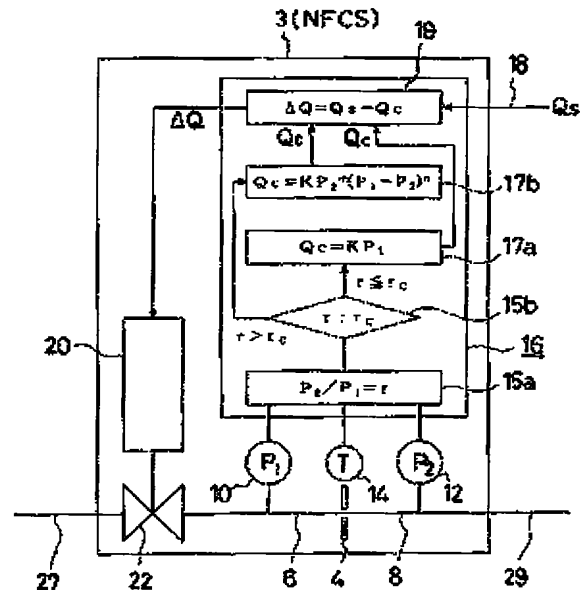
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 改良型圧力式流量制御装置

(57)【要約】

【課題】 非臨界領域において圧縮性流体の実際の流量に高精度にフィットする実験流量式を確立し、この実験流量式を用いて高精度に流量制御を行なえる改良型圧力式流量制御装置を開発する。

【解決手段】 非臨界領域（非音速領域）における圧縮性流体の実験流量式を $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ （ P_1 、 P_2 ）" によって表し、オリフィス4を通過する流体流量をこの $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により演算して、正確かつ高速に目的流量へと流量制御できる改良型圧力式流量制御装置を提供する。また、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から得られる圧力比 $P_2/P_1 = r$ を常に臨界値 r_c と比較して、臨界条件（ $r \leq r_c$ ）では $Q_c = K P_1$ により、非臨界条件（ $r > r_c$ ）では $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ により流量を演算して、流体の全条件に対応しながら、正確かつ高速に目的流量へと流量制御できる改良型圧力式流量制御装置を提供する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 流量制御用のオリフィスに流体を流通させるとき、オリフィスの上流側圧力 P_1 とオリフィスの下流側圧力 P_2 を用いて、オリフィスを通過する流体流量 Q_c を $Q_c = K P_1^n (P_1 - P_2)^m$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算することを特徴とする改良型圧方式流量制御装置。

【請求項2】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_1^n (P_1 - P_2)^m$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算する流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することを特徴とする改良型圧方式流量制御装置。

【請求項3】 前記オリフィスから流出する流体の速度が音速よりも小さい状態にある非臨界条件の下で作動する請求項2に記載の改良型圧方式流量制御装置。

【請求項4】 流量制御用のオリフィスと、オリフィスの上流側配管に設けたコントロールバルブと、オリフィスとコントロールバルブの間に設けて上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 の圧力比によってオリフィスから流出する流体が臨界条件(音速領域)にあるかどうかを判断する臨界条件判断手段と、非臨界条件では上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から演算流量 Q_c を $Q_c = K P_1^n (P_1 - P_2)^m$ (K は比例定数、 m と n は定数)により演算する非臨界流量演算手段と、臨界条件では前記演算流量 Q_c を $Q_c = K P_1$ (K は比例定数)により演算する臨界流量演算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することを特徴とする改良型圧方式流量制御装置。

【請求項5】 臨界圧力比 $r_c (= P_2/P_1)$ は $(2/(n+1))^{1/(n+1)}$ (但し、 n は C_p/C_v で定義される流体分子の比熱比)で計算され、圧力比 P_2/P_1 が臨界圧力比 r_c 以下のときに臨界条件と判断し、また臨界圧力比より大きいときに非臨界条件と判断する請求項3又は4に記載の改良型圧方式流量制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は主として半導体製造設備や化学プラント等で使用される圧方式流量制御装置に関し、更に詳細には、流体速度が音速よりも小さい領域で供給される流体の流量を新規な実験式を用いて正確に定め、この実験式に基づいて流体流量を正確に供給制御する改良型圧方式流量制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体製造設備や化学プラントなどでは、原料となる複数のガスを所定の流量で供給し、原料ガスを反応炉の中で化学反応させて目的ガスを生成する場合が多い。このような場合に、原料ガスの供給流量が正確でないと化学反応に過不足が生じ、目的ガスの中に原料ガスが残留する事態が生じる。

【0003】未反応状態で残留する原料ガスは不純物ガスとなり、目的ガスの純度を低下させる。特に、未反応残留ガスが爆発性のガスである場合には、後続の製造設備において爆発の危険性が付きまとい、その処理に余分な手間が掛かるという事態が生じる。

【0004】そこで、ガス流量を正確に供給制御することが必要となり、従来からマスフローコントローラをガス流量制御装置として利用する場合が多かった。ところが、マスフローコントローラには、①応答速度が比較的遅い、②低流量域における流量精度が悪い、③作動時のトラブルが多い、しかも④高コストである、等の多くの欠点があった。

【0005】そのため、マスフローコントローラ以外の方式でガス流量制御の精度を高める必要性が指摘されていた。この要請を受けて、本発明者等は、オリフィスを通過する流体を臨界条件、即ち音速領域に強制設定して流量制御する圧方式流量制御装置を開発し、特開平10-55218号としてその発明を公開している。

【0006】図5は従来から用いられている流体流量の理論式の説明図である。上流側圧力 P_1 に設定された上流側配管からオリフィスに流入した流体を、下流側配管に下流側圧力 P_2 で供給する場合を考える。ここで、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 は絶対圧力で表されている。

【0007】オリフィスを通過する流体速度が音速に達する前と、音速に達した後では、流体の流量条件が極端に変化する事が分かっている。音速に達する前の非臨界条件(非音速領域)では、下流側流量 Q は $Q = SC(P_1 - P_2)^{1/2} / T^{1/2}$ で与えられるが、音速に達した後の臨界条件(音速領域)では $Q = SC P_1 / T^{1/2}$ が成立する。ここで、 T はオリフィス通過時の流体の絶対温度、 S はオリフィス孔断面積、 C は比例係数である。

【0008】流体速度が音速に達する臨界条件は、圧力比 P_2/P_1 の臨界値 r_c で与えられることが流体力学から分かっている。この臨界値 r_c は、ガスの比熱比 n を

上流側圧力 P_1 を検出する上流側圧力センサと、オリフィスの下流側配管に設けて下流側圧力 P_2 を検出する下流側圧力センサと、上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 の圧力比によってオリフィスから流出する流体が臨界条件（音速領域）にあるかどうかを判断する臨界条件判断手段と、非臨界条件では上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 から清算流量 Q_c を $Q_c = K P_1^n (P_1 - P_2)^m$ （ K は比例定数、 m と n は定数）により清算する非臨界流量清算手段と、臨界条件では前記清算流量 Q_c を $Q_c = K P_1$ （ K は比例定数）により清算する臨界流量清算手段と、下流側に流体を設定流量 Q_s で供給するように指令する流量設定手段と、設定流量 Q_s と清算流量 Q_c との流量差 ΔQ を清算する減算手段と、この流量差 ΔQ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御する駆動部から構成され、下流側配管に設定流量 Q_s の流体を供給制御することを特徴とする改良型圧力式流量制御装置である。

【0023】請求項5の発明は、臨界圧力比 $r_c (= P_2 / P_1)$ は $(2 / (n + 1))^{1/(n+1)}$ （但し、 n は C_p / C_v で定義される流体分子の比熱比）で計算され、圧力比 P_2 / P_1 が臨界圧力比 r_c 以下のときに臨界条件と判断し、また臨界圧力比より大きいときに非臨界条件と判断する請求項3又は4に記載の改良型圧力式流量制御装置である。

【0024】

【発明の実施の形態】図1は本発明に係る非臨界条件における流量実験式と流量測定値の比較図である。本発明者等は非臨界条件に使用される従来の理論流量式を検討した。ベルヌーイの定理から導出される従来流量式は、 $Q_c = K (P_2 (P_1 - P_2))^{1/2}$ である。言い換えると、 $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ となる。

【0025】この従来流量式は非圧縮性流体に対しては正確な式であり、例えば非圧縮性液体などの流体に対しては十分に精度のある流量式である。この流量式をガスなどの圧縮性流体に適合させるためには、この構造形式をできるだけ変えない複数パラメータを有した実験流量式を確立する必要がある。

【0026】そこで、本発明者等は、実験流量式として、 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ を提案し、フィッティング用に m と n の2パラメータを導入することにした。ここで、比例定数 K は $K = SC/T^{1/2}$ で与えられ、ガス流の物質条件と絶対温度 T から計算される。

【0027】図1において、横軸は下流側圧力 P_2 を表し、単位はkPa a（キロパスカル絶対圧）である。また、縦軸は流量 Q を表し、単位はSCCMで、標準状態におけるcc/min単位の流量を表す。 $P_2 = 4.8$ [kPa a]の縦破線は臨界値 r_c の位置を示し、左側の（A）領域は臨界条件の領域、右側の（B）領域は非臨界条件の領域を示している。

【0028】図中、黒菱形は流量の実測値をプロットし

たものであり、この実測値に合うように前記実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ を清算によりフィットさせ、パラメータ m 、 n を決定する。その結果、 $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ が得られた。

【0029】実験流量式によって計算される流量は黒四角でプロットされている。この実験流量式は非臨界条件（B）の全領域で実測値に高精度にフィットしており、また臨界条件（A）の領域でも縦破線に近い領域では実測値にフィットしている。 m と n の二つの自由パラメータによってフィットさせているため、臨界条件領域の一部においてもフィットする領域が現れたのである。

【0030】本発明者等の研究によれば、二つのパラメータ m 、 n の値は、制御される流量範囲に依存することが分かっている。前記した $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ の値は、流量が0～10 sccmの領域において成立する値であるが、流量範囲が0～100 sccmや0～1000 sccmになると、 m と n の値はこれらの値からずれてくることが分かっている。

【0031】各流量範囲に対してフィットされた m と n の値をバラツキの観点からまとめると、 $0.40 < m < 0.50$ 及び $0.50 < n < 0.65$ の範囲が得られることが分かった。従って、実際の流量制御においては、制御される流量範囲に応じて、これらの範囲から選択された最適のパラメータ m 、 n の値が用いられる。

【0032】前述した $m = 0.47152$ 及び $n = 0.59492$ の値は、これらの範囲から選択された m 、 n の一例に過ぎない。しかしながら、ベルヌーイの定理から得られる $m = 0.5$ 及び $n = 0.5$ がこれらの範囲に含まれていないことは、特筆すべきことである。このことは実際の流体が非圧縮性流体という理想流体とは大きく異なることを意味している。本発明はこの現実流体に対して具体的に成立する流量実験式を発見してなされたものである。

【0033】以上から、非臨界条件における流量制御では、実験流量式として $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^m$ （ $0.40 < m < 0.50$ 、 $0.50 < n < 0.65$ ）を利用すれば、高精度の流量制御を実現できる。これはベルヌーイの定理から得られる従来の $Q_c = K P_2^{1/2} (P_1 - P_2)^{1/2}$ よりもはるかに実測値を再現できるものである。同時に、臨界条件における理論流量式として $Q_c = K P_1$ を併用することにより、非臨界条件及び臨界条件の全領域にわたって高精度の流量制御を達成する事が可能となる。

【0034】図2は本発明の実験流量式を用いた改良型圧力式流量制御装置の第1実施形態の使用構成例である。この改良型圧力式流量制御装置2は、供給される流体が非臨界条件にある場合、即ちオリフィス4から流出する流体の流体速度が音速より小さい場合を前提に構成されている。

【0035】この改良型圧力式流量制御装置2には、オ

$r_c = 0.53$ 、非直線型3原子分子ガスでは $r_c = 0.54$ であり、 r_c は約0.5と表記される。

【0052】 $r > r_c$ のときは非臨界条件であり、非臨界流量演算手段17bにより、演算流量 Q_c は $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ から計算される。 $r \leq r_c$ のときは臨界条件であり、臨界流量演算手段17aにより、演算流量 Q_c は $Q_c = K P_1$ から計算される。このように現在の流体が臨界条件又は非臨界条件のいずれにあるかを常時チェックしながら、実際の流量を適切な流量式で推定するのである。

【0053】最終的に、設定流量 Q_s と演算流量 Q_c との流量差 ΔQ を演算手段19で計算して、流量差 ΔQ がゼロになるようにバルブ駆動部20を動作させてコントロールバルブ22を開閉制御する。

【0054】図4は制御用の流量式が異なる場合の流量の比較図である。黒菱形は臨界条件の流量式 $Q = K P_1$ を全領域（臨界条件と非臨界条件）に対して使用した場合を示し、従来のFCS（Flow Control system）に相当する。他方、黒三角は図3に示すNFCS（新型FCS）に相当する。

【0055】最大流量を80[SCCM]とし、設定流量 Q_s を100%としたときに80[SCCM]の流量が流れるように設定する。従って、流量が大きいくほど臨界条件（音速領域）が満足され、流量が小さくなるほど非臨界条件（非音速領域）に移行すると考えられる。

【0056】従来のFCS（黒菱形）では $Q = K P_1$ の流量式だけで全領域を制御するから、設定流量が大きき場合には臨界条件が満足され、正しい流量を示している。ところが、設定流量が小さくなると、非臨界条件に移行するから、臨界条件の流量式では正確な流量を反映せず、設定流量が10%もあるのに流量=0と間違った結果を出してしまう。従って、小流量域ではFCSを修正する機構が必要であった。

【0057】ところが、NFCSの場合には、臨界条件では臨界条件の流量式 $Q_c = K P_1$ を用い、非臨界条件では非臨界条件の実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ を用いるから、設定流量に比例した正確な流量 Q を算出し、流量 Q の設定%に対する直線性が図4の黒三角に示すように保証されている。

【0058】本発明は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の技術的思想を逸脱しない範囲における種々の変形例・設計変更などをその技術的範囲内に包含することは言うまでもない。

【0059】

【発明の効果】請求項1の発明によれば、オリフィスを通過する流体流量 Q_c を実際の流量を正確に再現する実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ で演算するから、流量制御を高精度に行なえる改良型圧力方式流量制御装置

を実現できる。

【0060】請求項2の発明によれば、設定流量 Q_s に対し、演算流量 Q_c を $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ で演算し、両者の流量差 $\Delta Q (= Q_s - Q_c$ 又は $Q_c - Q_s)$ をゼロにするようにコントロールバルブを開閉制御するから、供給流量を正確かつ高速に設定流量へと制御できる改良型圧力方式流量制御装置を実現できる。

【0061】請求項3の発明によれば、オリフィスから流出する流体が非臨界条件にあるときに請求項2の改良型圧力方式流量制御装置を動作させるから、高精度の改良型圧力方式流量制御装置を提供できる。

【0062】請求項4の発明によれば、オリフィスから流出する流体が臨界条件にあるときには臨界条件の流量式 $Q = K P_1$ を用い、非臨界条件にあるときには非臨界条件の実験流量式 $Q_c = K P_2^n (P_1 - P_2)^n$ を用いて流量制御するから、流体が臨界条件から非臨界条件の間を変化しても、この変化に高速に追従しながら流体の流量制御を高精度に行なうことができる。

【0063】請求項5の発明によれば、オリフィスの上流側圧力 P_1 と下流側圧力 P_2 を検出するだけで、流体が臨界条件にあるか非臨界条件にあるかを正確に判断でき、あらゆる流体制御に対応することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る非臨界条件における流量実験式と流量測定値の比較図である。

【図2】本発明に係る実験流量式を用いた改良型圧力方式流量制御装置の第1実施形態の使用構成図である。

【図3】本発明に係る実験流量式を用いた改良型圧力方式流量制御装置の第2実施形態の使用構成図である。

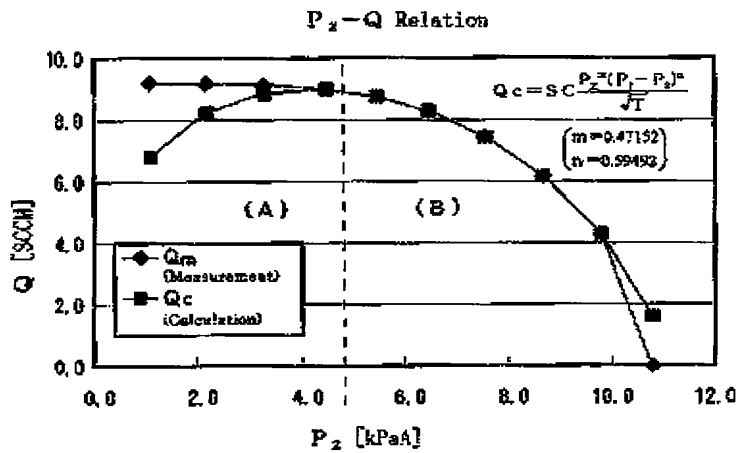
【図4】制御用の流量式が異なる場合の流量の比較図である。

【図5】従来から用いられている流体流量の理論式の説明図である。

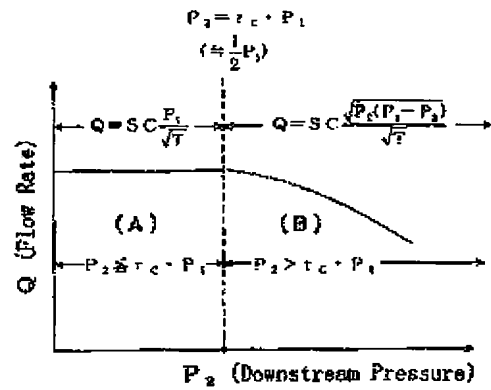
【符号の説明】

2は改良型圧力方式流量制御装置、3は改良型圧力方式流量制御装置（NFCS）、4はオリフィス、4aはオリフィス孔、6は上流側配管、8は下流側配管、10は上流側圧力センサ、12は下流側圧力センサ、14は温度センサ、15aは圧力比演算手段、15bは臨界条件判断手段、16は制御回路、17は流量演算手段、17aは臨界流量演算手段、17bは非臨界流量演算手段、18は流量設定手段、19は演算手段、20はバルブ駆動部、22はコントロールバルブ、24はガスタンク、26はレギュレータ、27は供給側配管、28はバルブ、29は制御側配管、30はバルブ、32はチャンバー、34はドライポンプ、 P_1 は上流側圧力、 P_2 は下流側圧力、 r は圧力比(P_2/P_1)、 r_c は臨界値、 Q_c は演算流量、 Q_s は設定流量、 ΔQ は流量差である。

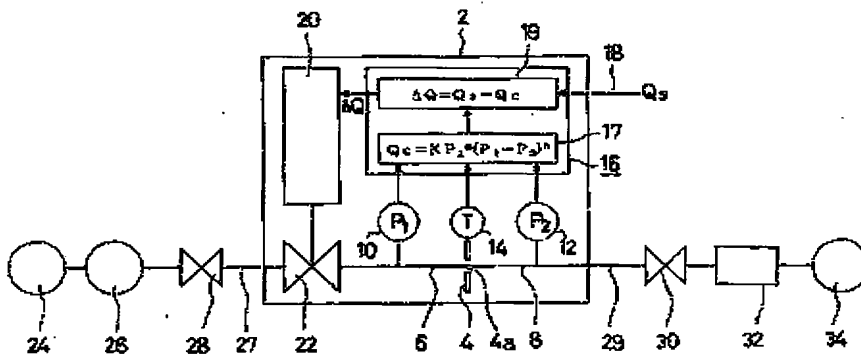
【図1】



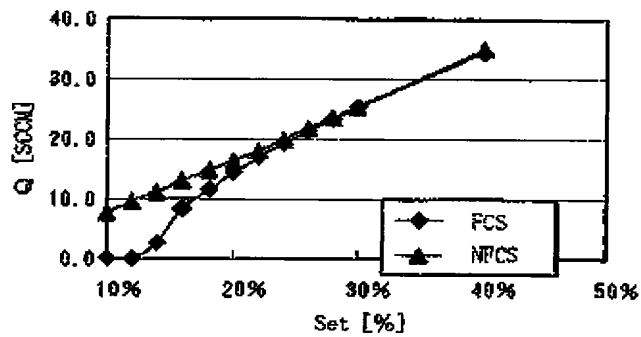
【図5】



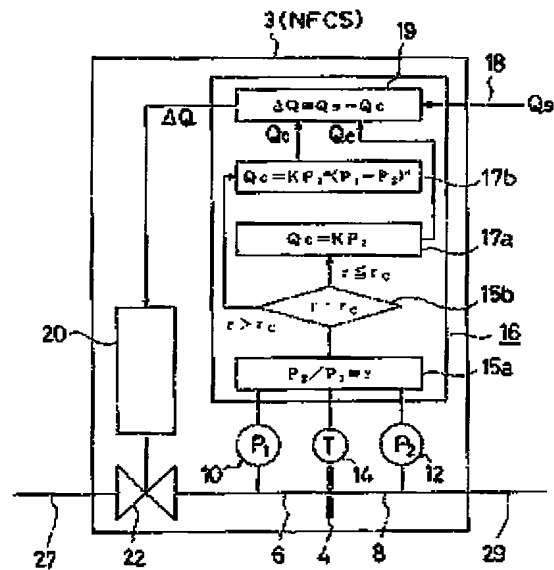
【図2】



【図4】



【圖 3】



フロントページの続き

(72)発明者 大見 忠弘
宮城県仙台市青葉区米ヶ袋2丁目1番17-301号

(72)発明者 乾 秀二郎
兵庫県西宮市五月ヶ丘8-27

(72)発明者 酒井 泰治
大阪府吹田市垂水町1丁目20番25号

(72)発明者 稲山 将宣
大阪府箕面市新稲3-8-8

(72)発明者 杉山 一彦
山梨県韮崎市藤井町北下条2381番地の1
東京エレクトロン株式会社内

(72)発明者 宇野 富雄
大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号
株式会社フジキン内

(72)発明者	池田 信一 大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号 株式会社フジキン内
(72)発明者	西野 功二 大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号 株式会社フジキン内
(72)発明者	中村 修 大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号 株式会社フジキン内
(72)発明者	土肥 亮介 大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号 株式会社フジキン内
(72)発明者	松本 鷹詔 大阪府大阪市西区立売堀2丁目3番2号 株式会社フジキン内

Fターム(参考) 2F030 CA04 CC11 CE04 CF05 CF08
5H307 AA02 AA20 BB01 DD01 DD07
DD08 DD12 DD17 EE02 FF03
FF12 FF13 FF15 JJ01 JJ03